

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский государственный университет
Институт Наук о Земле
Кафедра геоэкологии и природопользования

Мозолева Екатерина Дмитриевна

Выпускная квалификационная работа

ВЛИЯНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЗАВОДА НА СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Основная образовательная программа магистратуры
Геоэкологический мониторинг и рациональное природопользование
Профиль - Природопользование

Научный руководитель:
к.г.н., доцент Кукушкин Степан Юрьевич
Рецензент:
к.г.н., Папян Эльза Эльдаровна

Санкт-Петербург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Влияние асфальтобетонных заводов на окружающую среду	5
1.1 Общая характеристика асфальтобетонных заводов.....	5
1.2 Основное технологическое оборудование АБЗ.....	6
1.3 Описание производственного центра «Асфальтобетонного завода №1»...	8
1.4 Воздействие асфальтобетонных заводов на компоненты среды.....	11
1.5 Основные загрязняющие почву вещества, поступающие в среду в процессе эксплуатации АБЗ	12
ГЛАВА 2. Особенности городских почв	15
2.1 Характеристика городских почв	15
2.2 Роль городской почвы в урбанизированной среде.....	15
2.3. Нормирование загрязнения почв.....	18
ГЛАВА 3. Загрязнение городских почв на примере исследования распространения тяжёлых металлов	20
3.1 Содержание тяжёлых металлов в почвах и классификации, применимые к ним	20
3.2 Характеристика некоторых тяжёлых металлов и металлоидов в почве.....	23
ГЛАВА 4. Методика исследований и полученные результаты	27
4.1. Полевой этап.....	27
4.2. Камеральный этап.....	27
4.3. Обработка полученных данных и расчёт Zс.....	29
4.4. Факторный и кластерный анализы данных.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	37
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	39

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение воздуха в городах вот уже более века является одной из острейших экологических проблем. Развитие промышленности и активный рост городов обуславливают увеличившиеся в последние десятилетия выбросы в атмосферу.

Если сравнительно недавно основным источником загрязнения воздуха в городах являлись промышленные выбросы, вносящие в атмосферу различные вредные вещества, в настоящее время во многих городах таким источником стал автомобильный транспорт, с выхлопными газами которого в атмосферу поступают многие вещества, в том числе и оксиды азота. Ещё одним источником привнесения вредных веществ в атмосферный воздух являются ТЭС: в их выбросах содержатся диоксид серы, оксиды азота, оксиды углерода, а также зола.

Именно выбросы в атмосферу сильнее всего сказывается на здоровье человека. Наиболее опасные выбросы образуются при сгорании топлива и отходов, выходят с металлургических и химических производств. К основным элементам загрязнения атмосферы, помимо уже упомянутых оксидов и диоксидов, относят формальдегид, сероводород, свинец, никель, бенз-(а)-пирен.

Так или иначе, но конечная оценка уровня содержания вредных веществ в воздухе обладает некоторой неточностью: например, сложно измерить точное содержание вредных веществ в воздухе, так как залповые выбросы не всегда совпадают с моментами измерений. Это приводит к искажению действительных данных.

Однако техногенные загрязнители выявляются при анализе почв города - своеобразной депонирующей среды, в которой накапливаются тяжелые металлы и прочие вещества, поступающие от источников загрязнения через атмосферу, с осадками и поверхностными водами.

Важно помнить, что почва в городской среде, как правило, отличается от почвы в естественных условиях: для антропогенной системы характерно нарушение естественных взаимосвязей компонентов. Для городских почвогрунтов свойственно перемешивание и уничтожение естественных почв почвы; помимо нарушения структуры почвы различными веществами, в их механический состав включается много твёрдых бытовых и строительных отходов. Для изучения городских почв важно знать историю их формирования, т.е., как давно на них появился человек и какое влияние, в том числе техногенное, оказывал на неё. В урбанизированной среде почвы как основная депонирующая среда являются наиболее загрязнённым компонентом, несмотря даже на их высокую буферную способность.

Естественные почвы в урбанизированных условиях находятся далеко от поверхности, и помимо слоя асфальта на них накладывается ряд антропогенных слоёв. Отличительным свойством подстилающих пород в городских почвогрунтах является гетерогенный состав. Множество включений разных размеров является барьером для прохода тепла и воды. Вследствие этого минерально-энергетический обмен не регулируется, слои не взаимодействуют, и так начинает формироваться почвенный профиль. В городской среде почвообразующие процессы проходят значительно быстрее.

На территории МО Коломязи расположен завод «АБЗ-1» – именно он, по утверждениям жителей, отравляет местный воздух. Основной причиной недовольства людей является неприятный запах.

Территория округа располагается между Удельным парком, Парашютной ул., Шуваловским пр., ул. Маршала Новикова, Новосельковской ул., Репищевой ул., ул.Щербакова, Новоколомяжским пр., Афанасьевской ул., Афонской ул., Главной ул., Поклонногорской ул. и линией Финляндской ж.д. На данной территории с середины 2000-х ведётся активная жилищная застройка, и на сегодняшний день численность населения, по данным официального сайта Коломязи, составляет около 46 000 жителей.

По данным СМИ, противостояние местного населения и завода длится уже около 10 лет. Жители неоднократно жаловались на едкий дым и резкие запахи, исходящие со стороны промышленной зоны.

Поступление поллютантов в атмосферный воздух и дальнейшее осаждение вредных веществ отражается также на состоянии почвенного покрова. Таким образом, выбросы данного источника являются потенциально опасными для состояния окружающей среды округа и здоровья населения. Именно поэтому определение уровня негативного воздействия АБЗ-1 на прилегающую селитебную территорию является актуальным для данного исследования.

Целью работы является оценка загрязнения городских почв округа Коломязи.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выделить и рассмотреть основные характерные загрязняющие вещества, образующиеся при работе АБЗ-1;
2. Оценить уровень эмиссии и рассеивание загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от АБЗ-1;
3. Определить уровень содержания загрязняющих веществ в городских почвах МО Коломязи;
4. Оценить степень загрязнения почв и на основе этого оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха в соответствии с руководящими документами.

ГЛАВА 1. Влияние асфальтобетонных заводов на окружающую среду

1.1 Общая характеристика асфальтобетонных заводов

Асфальтобетонный завод — это промышленное предприятие, предназначенное для изготовления асфальтобетонных и битумоминеральных смесей, используемых при строительстве и ремонте асфальтового покрытия.

Асфальтобетонные заводы различают:

- по типу размещения (прирельсовые и притрассовые (приобъектные));
- по длительности работы на одном месте: стационарные, инвентарные (перебазируемые) и мобильные (т.е., передвижные);
- по принципу действия: циклические и непрерывные [10].

Прирельсовые АБЗ сооружают непосредственно у железной дороги, по которой поступают все или большинство исходных материалов, таких, как, например, щебень, песок, битум, минеральный порошок и топливо. Для приема прибывших грузов сооружают железнодорожные тупики, связывающие территорию предприятия с железными дорогами общего назначения. Готовую продукцию вывозят по построенным автодорогам.

Притрассовые асфальтобетонные заводы располагаются непосредственно вблизи от автомобильной дороги, что позволяет сократить время и дальность перевозок готовой асфальтобетонной смеси. Все исходные материалы, как и топливо, привозятся с прирельсовых складов или непосредственно производящих их предприятий: с карьеров каменных материалов и песка, заводов по производству битума и минерального порошка. Такое удобное расположение асфальтобетонных заводов позволяет использовать наиболее дешевые виды транспорта, такие, например, как конвейеры.

Стационарные заводы строят обычно монолитными (то есть, неразборными), рассчитывая таким образом на эксплуатацию на данном участке до 10 лет и более. Такие заводы больше подходят для массового производства смесей.

Конструкция мобильных асфальтобетонных заводов предполагает возможность её разбора и рассчитана на эксплуатацию на данном участке до 1 года. Создаются такие заводы, если необходима частая смена места производства. В сравнении со стационарными предприятиями, мобильные заводы отличаются меньшей мощностью и меньшим объёмом производимой продукции, а также компактностью и более низкой энергоёмкостью. Главное же их преимущество заключено в возможности транспортировки всех агрегатов комплекса ближе к месту крупной стройки. Демонтаж конструкции может осуществляться с помощью подъёмного крана.

Инвентарные АБЗ сооружают разборными и рассчитывают на эксплуатацию на одном месте в течение 2-4 лет. Технологический цикл и качество выпускаемой продукции у стационарного, инвентарного и у мобильного АБЗ практически не различаются [29].

Из описания видов асфальтобетонных заводов следует, что рассматриваемый в рамках будущего исследования АБЗ-1 относится к стационарному притрассовому виду. Он планировался как действующий непрерывно, однако в 2015 г. его действие было приостановлено из-за недовольства населения [26]. На данный момент, предприятие является действующим.

1.2. Основное технологическое оборудование АБЗ

Любые асфальтобетонные заводы имеют четыре обязательных цеха:

1. смесительный;
2. камнедробильный;
3. цех минерального порошка;
4. битумный.

На заводах осуществляются следующие технологические операции:

- приём и хранение материалов для приготовления асфальтобетонной смеси;
- дробление (при необходимости) и сортировка щебня и песка;
- дозировка и подача в бункер материалов (для минеральных материалов ещё нагрев и сушка);
- складирование, хранение (кратковременное) и отгрузка готовой продукции [10].

Для выполнения всего комплекса технологических операций, в состав АБЗ входит следующее обязательное технологическое оборудование:

- асфальтосмесительные установки;
- приемные устройства для каменных материалов, площадки для их хранения и машины для их подачи в бункеры асфальтосмесительных установок;
- приемные устройства для битума, хранилища (емкости) для битума, битумонагревательное оборудование, битумные насосы;
- приемные устройства и площадки для бочек с ПАВ или емкости для ПАВ, нагреватели для ПАВ и насосы для их подачи к смесителю;
- приемные устройства и емкости для хранения минерального порошка и насосы (пневмосистемы) для подачи его к смесителю;
- загрузочное устройство (скип или элеватор) готовой смеси, бункеры-накопители готовой смеси;

- дробильно-сортировочное оборудование для получения требуемых фракций щебня и песка.

Помимо основного технологического оборудования в состав АБЗ могут входить:

- оборудование для приготовления и хранения битумных эмульсий;
- хранилища топлива (газа, дизтоплива или мазута);
- постройки административно-бытового назначения;
- объекты электроэнергетического обеспечения;
- котельные;
- компрессорные станции;
- водопроводное хозяйство;
- сети электро-, тепло- и водоснабжения;
- лаборатория;
- ремонтная мастерская;
- материально-технический склад [10].

Склады щебня, гравия и песка на АБЗ представляют собой открытые площадки, где материалы хранят в штабелях. Такие площадки планируют с уклоном от 5 до 20%, учитывая сток дождевой воды.

Склад минерального порошка представляет собой агрегаты, которые предназначены для приёма самого порошка из транспортных средств, хранения и подачи к дозатору. Агрегаты состоят из силосных банок, оборудования для транспортирования и подъема минерального порошка, фильтров при использовании пневмоподачи, указателей уровня, аэрационного устройства, затворов и насосов.

Битумохранилище – это склад, сооруженный на асфальтобетонном заводе и включающий в себя наземные или подземные резервуары для приёма, хранения, нагрева и перекачивания органических вяжущих материалов в битумоплавильные установки. В настоящее время предпочтение отдают, в основном, закрытым битумохранилищам, защищающих органические вяжущие от попадания в них загрязнений и воды. Все битумохранилища оборудованы системами подогрева битума, которые включают в себя паровой или электрический нагреватель, поддерживающий температуру битума в пределах 90 – 100°C.

Асфальтосмесительная установка – это комплект агрегатов или технологического оборудования для приготовления асфальтобетонных смесей и обработки органическими вяжущими минеральных материалов. Управление всеми операциями по приготовлению смесей автоматизированное.

Асфальтосмесительная установка включает:

- агрегат питания;
- сушильный агрегат;
- обеспыливающую установку, обычно состоящую из пылеуловителя циклонного типа (первая стадия очистки) и рукавного фильтра (вторая стадия очистки);
- смесительный агрегат с сортировочно-дозировочным оборудованием;
- накопительный бункер, где хранится готовая асфальтобетонная смесь.

Агрегат питания предназначен для равномерной подачи холодных и влажных песка и щебня различных размеров в необходимых соотношениях в сушильный барабан.

Сушильные агрегаты используют для сушки и нагрева щебня и песка до температуры, варьирующей в пределах 180 – 200 °С. Они состоят из барабана, топливного оборудования, баков для топлива и обеспыливающей установки. Сушильный барабан непрерывного действия просушивает и нагревает песок и щебень горячими газами. Горячие газы получаются в результате сгорания распыленного жидкого топлива, роль которого обычно играет мазут. Топливо перед подачей в форсунку нагревают до температуры 70-100 °С.

Пылеулавливающие установки предназначены для очистки газов, выходящих из сушильного барабана, так как при сушке и нагреве песка и щебня выделяется большое количество пыли и несгоревших частиц жидкого топлива.

1.3. Описание производственного центра «Асфальтобетонного завода №1»

ОАО «Асфальтобетонный завод №1» располагает двумя производственными центрами – на юге и на севере Санкт-Петербурга, позволяющими обеспечить надежные поставки качественного продукта в любую точку города. Каждый центр оснащен дробильно-сортировочными комплексами. В работе рассматривается производственный центр, располагающийся на севере города, в пределах промышленной зоны Коломаги, в 11 км от КАД. Подъезд к предприятию осуществляется подъезд к предприятию осуществляется по Новосельковской улице. (Рис.1).

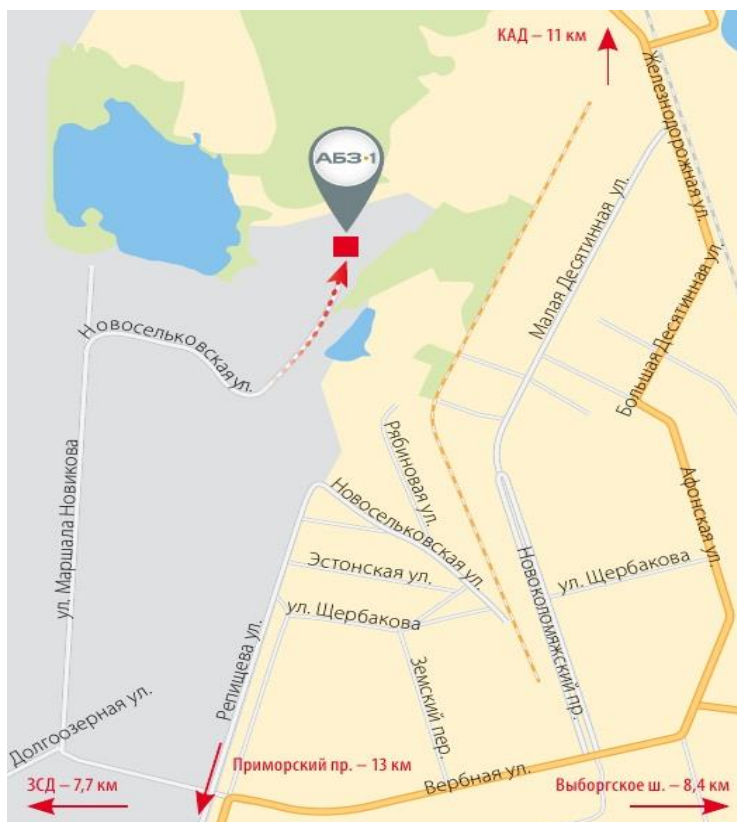


Рисунок 1 – Карта-схема расположения производственного комплекса АБЗ-1

ОАО «АБЗ-1» — единственное предприятие на Северо-Западе, имеющее на каждом производстве новую установку для производства ПБВ, что позволяет бесперебойно выпускать асфальтобетонные смеси.

Испытательная лаборатория, располагающаяся на территории предприятия, осуществляет все виды лабораторного контроля (входной, приемо-сдаточный, периодический, операционный) поступающих материалов и выпускаемой продукции, а также оказывает технологическую поддержку по работе со смесями [26].

Завод «АБЗ-1» имеет мощность 240 тонн асфальтобетона в час (около 140 тыс. тонн за дорожный сезон — с весны по осень). Все заводы, принадлежащие «АБЗ-1», производят 90% используемого в Петербурге литого асфальта, который используется при ремонте и строительстве путепроводов, мостов и транспортных развязок, в том числе и ЗСД [30]. Ещё в 2007 г. была согласована санитарно-защитная зона (ССЗ) предприятия (по адресу: Санкт-Петербург, Новосельковская ул., д. 33) с границами размером 90 м в юго-восточном направлении, 150 м в северо-восточном направлении и в остальных направлениях 210 м от границ основной производственной площадки ОАО «АБЗ-1». С 2013 г. асфальтосмесительная установка данного предприятия работает только с использованием газового топлива, используемое ранее дизельное топливо не применяется, что полностью

исключает в дальнейшем возможность выбросов диоксида серы в атмосферу в концентрациях, превышающих ПДВ.

С 2002 года на предприятии сертифицирована система менеджмента качества в соответствии с требованиями МС ИСО 9001.

На АБЗ-1 производятся следующие виды продукции:

- все виды асфальтобетонных смесей (крупнозернистые, мелкозернистые, песчаные, плотные и пористые смеси более чем по 150 составам для верхних и нижних слоев дорожной одежды, в том числе щебеночно-мастиный асфальтобетон (ЩМА), литой полимерасфальтобетон, асфальтобетон на основе полимерно-битумного вяжущего (ПБВ) и другие);
- литые полимерасфальтобетонные смеси;
- катионные битумные эмульсии со специфическими характеристиками;
- дробленый щебень различных пород и фракций;
- минеральный порошок;
- полимер-битумное вяжущее;
- цветной асфальт [30].

Страна	Регион	Населенный пункт	Повторяемость направлений ветра в январе, %								Повторяемость направлений ветра в июле, %							
			С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
RUS	Ленинградская область	Санкт-Петербург	5	10	9	13	19	18	15	11	9	19	9	8	8	15	22	10

Внимание: Данные взяты из СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика"



Рисунок 2 – Основные направления ветров Санкт-Петербурга

На рисунке 2 изображены основные направления ветров Санкт-Петербурга. С помощью рис.2 можно определить основные пути воздушного переноса веществ.

В зимнее время года преобладает ветер, движущийся с ЮЗ, Ю, ЮВ; в летнее время года у ветров присутствуют два основных направления: с запада на восток и с северо-востока на юго-запад.

Вероятно, именно летнее направление ветра с северо-востока и пересекающегося с западными ветрами может оказывать наибольшее влияние на распределение загрязняющих веществ от АБЗ-1 в пределах Коломыги.

1.4. Воздействие асфальтобетонных заводов на компоненты среды

Все стадии производства асфальтобетона сопровождаются выбросами вредных веществ в атмосферу. Выбросы загрязняющих веществ подразделяются на организованные и неорганизованные.

Организованными выбросами являются выбросы, отводимые от мест выделения системой газоотводов (пылеуловители с выхлопными трубами).

Неорганизованными являются выбросы, возникающие за счет негерметичности технологического оборудования, газоотводных устройств, резервуаров, открытых мест пыления и испарения и т.д. [11].

К неорганизованным источникам выделения вредных веществ на АБЗ относятся:

- места выгрузки материалов из транспортных средств;
- узел загрузки (разгрузки) материалов в сушильный барабан;
- горячие элеваторы;
- места хранения песка, щебня, минерального порошка и т.д.

При эксплуатации *любого* асфальтобетонного завода в атмосферу выделяются следующие загрязняющие вещества:

- неорганическая пыль с разным содержанием диоксида кремния;
- оксиды углерода и азота;
- диоксид серы;
- предельные углеводороды;
- диоксины и фураны;
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ): мазутная зола (в пересчете на ванадий) при применении мазута в качестве топлива;
- бенз(а)пирен и сажа как побочные продукты горения битума;
- свинец и его неорганические соединения – при работе транспорта на этилированном бензине;
- оксиды железа, марганец, и его соединения – при использовании щебня в качестве заполнителя асфальтобетонной смеси;
- оксиды свинца, цинка, хрома или железа – в качестве неорганических пигментов при создании цветного асфальта [30, 31].

Выбросы предприятия влекут за собой изменения свойств атмосферного воздуха, приводят к образованию кислотных осадков и смога, способствуют уменьшению прозрачности атмосферы, ее помутнению, что, в свою очередь, обуславливает снижение

поступления прямой солнечной радиации примерно на 20% [7]. Частицы, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии, образуют различные аэрозоли.

Выбросы в атмосферу косвенно влияют на состояние гидросферы и, накапливаясь в водах и донных отложениях, могут стать источником вторичного загрязнения. Выделяющиеся в процессе производственной деятельности диоксид серы (SO_2) и оксиды азота (NO_x) преобразуются в атмосфере Земли в кислотообразующие частицы. Вступая в реакцию с водой атмосферы, они превращают её в растворы кислот, которые понижают pH дождевой воды. Кислотный дождь оказывает отрицательное воздействие на водоемы, повышая их кислотность до уровня, несовместимого с жизнью живых организмов и растений. По мере накопления органических веществ на дне водоемов, из них начинают выщелачиваться токсичные металлы. Повышенная кислотность воды способствует более высокой растворимости многих опасных металлов, таких, например, как алюминий, кадмий, ртуть и свинец из донных отложений и почв. Также, кислотные дожди понижают плодородие почв и могут приводить к просачиванию токсичных металлов в водоносные слои почвы [9].

1.5. Основные загрязняющие почву вещества, поступающие в среду в процессе эксплуатации АБЗ

Почвы, находящиеся в районе АБЗ, загрязнены некоторыми **тяжелыми металлами** и микроэлементами, что в существенной степени обусловлено спецификой технологического процесса и особенностями состава сырья и материалов (нефтебитумов, минеральных и песчано-гравийных смесей, мазута, дизельного топлива и др.). К таким металлам относятся, например, мышьяк, свинец и бериллий.

Тяжелые металлы обладают способностью аккумулироваться в почве в различных формах и мигрировать на большие расстояния: так, к примеру, тяжелые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии. Тяжелые металлы в некоторых случаях могут быть распространены в почве, совпадая с розой ветров, характерной для данного района. [7]

Помимо тяжёлых металлов, в почве могут быть обнаружены и **диоксины**, наличие которых приводит к изменению физико-химических свойств, снижению биологической активности, плодородия и процессов самоочищения. Как и любые стойкие органические загрязнители, диоксины обладают рядом свойств: токсичностью, длительным периодом полураспада или полураспада (в воздухе 2-5 дней, в воде 4-6 месяцев, в почве – более года), способностью к биоаккумуляции, склонностью к трансграничному переносу. Несмотря на то, что в современном мире ведутся интенсивные работы по установлению

механизмов воздействия СОЗ на живые организмы, информация о физико-химических свойствах СОЗ практически отсутствует, а имеющаяся – крайне противоречива. Например, в различных источниках данные по растворимости в воде и прочие физико-химические константы значительно разнятся - на несколько порядков [16].

Наиболее быстрое разложение диоксинов происходит под воздействием ультрафиолетового излучения. Этот механизм является основным путем деградации для диоксинов, находящихся в атмосферном воздухе. Также возможен фотолит на поверхности почвы и воды.

Высокотемпературные процессы (в диапазоне от 200 до 1200 °С) и/или неполное сгорание, наличие органического углерода и хлора — основные условия, способствующие поступлению диоксинов в воздух.

Диоксины пребывают в атмосфере как в свободном молекулярном состоянии, так и в сорбированном на поверхности твердых частиц. Из атмосферы диоксины потом вымываются осадками, попадая в почвы и воды. [16]

Асфальтобетонное производство невозможно без использования битума. **Битум** — это твёрдые или смолоподобные продукты, представляющие собой смесь углеводородов и их азотистых, кислородистых, сернистых и металлосодержащих производных.

Наиболее часто нефтяные вязкие битумы используются в дорожном строительстве при создании асфальтобетонных составов. Базовое предназначение битума в таких смесях — это соединение компонентов: щебня, песка, минеральных элементов — при сохранении необходимого коэффициента прочности и пластичности. [27]

При попадании в почву нефти и нефтепродуктов, к которым относится битум, происходят глубокие изменения химических, физических, микробиологических свойств почвы и, при особенно масштабном загрязнении, - значительная перестройка всего почвенного профиля. Загрязненные нефтепродуктами почва и вода практически не способны самостоятельно очиститься от нефтяного загрязнения - разложение нефти и нефтепродуктов в естественных условиях происходит очень медленно, а продукты разложения (смолистые вещества, кислоты), в свою очередь, являются загрязнителями. Подавляется самоочищающая активность почвы и воды, в результате чего накапливаются трудноокисляемые продукты, препятствующие жизнедеятельности микроорганизмов, нарушающие соотношение между группами естественных микроорганизмов, подавляющие жизненно важные процессы дыхания и самоочищения. [27]

Имея низкую температуру застывания, нефтепродукты плотно закупоривают поры и каналы почвы, по которым происходит обмен веществ между почвой и сопредельными средами. Таким образом, ухудшаются водно-физические свойства почв из-за цементации

порового почвенного пространства, - нарушается водообмен почвы на долгий срок. Они опасны для почвы: имея низкую температуру застывания, нефтепродукты плотно закупоривают поры и каналы почвы, по которым происходит обмен веществ между почвой и сопредельными средами.

Отрицательное влияние смолисто-асфальтеновых компонентов обусловлено их вязкостью и плотностью, которые ведут к изменению физико-химических свойств почв. Влиять могут и присутствующие в составе нефти микроэлементы, вызывающие повышение не только их общего содержания в почве, но и содержания подвижных соединений этих элементов (As, Co, Cu, Pb, Hg, Ni, V, Fe, Mn). [27]

В технологии производства асфальтобетона находят применение **поверхностно-активные вещества (ПАВ)**. Добавки таких веществ улучшают сцепление битума с минеральным материалом, сокращают время перемешивания, улучшают удобоукладываемость, уплотняемость смесей и сокращают расход битума.

Применяемые в асфальтобетоне ПАВ разделяются на ионогенные и неионогенные. Ионогенные ПАВ, в свою очередь, подразделяются на два типа: катионоактивные и анионоактивные. [28]

Попадая в почвы через сбросы в воды, ПАВ увеличивают водоустойчивость почвенной структуры, изменяют фракционный состав гумусовых веществ. [28]

Используя программу УПРЗА Эко-Центр, методику для расчётов «АБЗ», были вычислены основные химические вещества-загрязнители, являющиеся показательными для оценки загрязнения именно от АБЗ-1. С помощью этой программы также была создана модель рассеивания вредных веществ (Прил. 1).

К таким веществам можно будет отнести предельные углеводороды (алканы) C₁₂-C₁₉; неорганическую пыль (70-20% двуокиси кремния) различного гранулометрического состава; монооксид и оксид азота (IV), оксид углерода.

При анализе статей со схожей тематикой удалось предположить, что в почвах, вероятно, будут обнаружены тяжелые металлы, наиболее яркими представителями которых будут являться свинец, марганец и цинк [31].

ГЛАВА 2. Особенности городских почв

2.1. Роль городской почвы в урбанизированной среде

Роль почвы в городе существенна и разнообразна. Почва в городе является хорошим поглотительным барьером газовых примесей, в том числе от автотранспорта, ТЭЦ, заводов и прочих загрязнителей. Помимо этого, такая почва регулирует газовый состав атмосферы путем поглощения и выделения почвой газов (метан, аммиак, углекислый газ и т. д.). «Благодаря своим биогеохимическим свойствам и огромной активной поверхности тонкодисперсной части почва превращается в "депо" токсических соединений и одновременно становится одним из важнейших биогеохимических барьеров для большинства соединений (тяжелые металлы, минеральные удобрения, пестициды, нефтепродукты) на пути их миграции из атмосферы города в грунтовые воды и речную сеть. Почва переводит поверхностные воды в грунтовые, очищая их, а также выполняет функцию защитного сорбционного барьера от загрязнения пресных вод и водоемов» [12].

В результате интенсивного антропогенного и техногенного воздействия в городских почвах развиваются негативные процессы, ухудшающие их качество вследствие нарушения и разрушения почвенного профиля, переуплотнения, нарушения водно-воздушного, теплового, пищевого и газового режимов, химического и биологического загрязнения, сокращения биоразнообразия [8].

Оценка состояния городских почв крайне важна при проведении комплексной оценки экологического состояния той или иной территории. Несмотря на то, что на урбанизированных территориях почвы не представляют интерес как начальное звено пищевых цепей, они являются показателем экологического состояния окружающей среды и потенциальным источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы, поверхностных и грунтовых вод.

2.2. Характеристика городских почв

Термины “городские почвы” и “почвы города” появились на ранних этапах изучения почвообразования в городской среде и были определены по-разному. К “почвам города” относят любые почвы на его территории: природные или почти природные (с естественным профилем и аналитической диагностикой загрязнения или биогеохимическими особенностями, явно отличающимися от природных), “полугородские” урбопочвы и собственно “городские почвы” – урбаноземы и их варианты. Городская почва является биокосной многофазной системой, включающей в себя твердую, жидкую и газовую фазы, с непременною участием живой фазы. Почвы в городе образуются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но антропогенный фактор здесь оказывает существенное влияние [13].

В широком смысле, городская почва – это любая почва, находящаяся и функционирующая в городе. В узком смысле этот термин подразумевает специфические почвы, сформированные деятельностью человека в городе. Впервые термин «городские почвы» был введен Бокгеймом (США) в 1974 г., который определял его как «почвенный материал, содержащий антропогенный слой несельскохозяйственного происхождения более 50 см, образованный путем перемешивания поверхности земли в городских и пригородных территориях» [4].

В настоящее время принято следующее определение городских почв: это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительно-бытового мусора.

Согласно классификации почв России (2004), почва – это экспонированное на поверхности суши природное или естественно-антропогенное твердофазное тело, сформированное многолетним взаимодействием процессов, приводящих к дифференциации исходного минерального и органического материала на горизонты.

Такие горизонты – это субгоризонтальные слои, различающиеся по морфологическим и аналитическим показателям. Их свойства определяются генезисом, поэтому почвенные горизонты называются генетическими. Генетические горизонты включают в себя как естественные, так и антропогенно-преобразованные. Последние являются результатом сочетания природных процессов и деятельности человека, что позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы.

Система взаимосвязанных генетических горизонтов образует почвенный профиль, на основании которого производится диагностика и классификация почв. Несмотря на то, что объектом классификации служит почва как трехмерное природное тело, диагностика производится на основании исследования генетических горизонтов на вертикальной стенке разреза.

Почвенный профиль необходимо отличать от искусственных почвоподобных конструкций, состоящих из насыпных слоев, которые не являются результатом почвенных процессов. Такие конструкции относятся к группе техногенных поверхностных образований (ТПО) и не рассматриваются как объекты почвенной классификации, так как в них еще не сформировались генетические горизонты.

К ТПО могут быть отнесены как целенаправленно сконструированные почвоподобные тела, так и остаточные продукты хозяйственной деятельности, состоящие

из природного и/или специфического новообразованного субстрата. Несмотря на то, что за неимением генетических горизонтов ТПО не рассматриваются как объекты почвенной классификации, они нуждаются в систематике и диагностике: как и почвы, они могут и должны быть объектом картографирования.

В основе систематики и диагностики ТПО лежит характер вещественного состава субстратов, слагающих эти образования: морфологическое строение вскрытой или насыпной толщи (в последней часто наблюдается система слоев), природное или искусственное происхождение, а также (в ряде случаев) химический состав материала, из которого состоят ТПО. При внешнем сходстве в подходе к классификации и диагностике почв и ТПО имеется принципиальная разница: в отличие от почв слои ТПО не рассматриваются как генетически сопряженные горизонты.

ТПО, состоящие из привнесенного минерального материала, предлагается называть литостратами, из материала органического происхождения – органостратами и фимостратами (*fimum* – нечистоты), из отходов промышленного происхождения – индустратами, из городских бытовых отходов – урбистратами.

Согласно определению по ГОСТ 27593-88, «почва является самостоятельным естественно-историческим органоминеральным природным телом, возникшем на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящем из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющем специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия.» [17]

В МУ 2.1.7.730-99, как и в СанПиН 2.1.7.1287-03, регламентирующим оценку почв населённых пунктов, отсутствует выделение почв городов как особого тела, значительно отличающегося от классического определения почвы, что приводит к противоречиям и путанице в терминологии природоохранного законодательства: так, гигиенические нормативы должны применяться к телу, именуемому почвой, однако на деле это тело формально этой самой почвой не является. Иными словами, МУ и СанПиН регламентируют загрязнения почв для именно почв и именно населенных пунктов. То есть, нормативы, в соответствии с РД и ГОСТ, применяются именно для почв, а в данном случае были рассмотрены не совсем почвы. Возникает резонный вопрос: а правомерно ли оценивать уровень загрязнения в соответствии с РД?

2.3. Нормирование загрязнения почв

Нормирование загрязнения почв является довольно сложной задачей, обусловленной, как минимум, тем, что существуют десятки типов почв, сильно отличающихся как по составу, так и по структуре.

Любая почва является средой с очень сложными химическим составом и структурой. Почвенная среда, обладая гораздо меньшей подвижностью, чем поверхностные воды и атмосфера, медленно аккумулирует вредные вещества в течение длительного времени, а активная деятельность почвенных микроорганизмов провоцирует процессы трансформации, деградации и миграции поступающих в почву вредных веществ. Исходя из этого, ПДК загрязняющих веществ в почвах зависят не только от их химических свойств и токсичности, но и от особенностей самих почв [32].

Санитарно-гигиенический подход к выбору критериев экологической оценки почв (грунтов) населённых пунктов определяется, с одной стороны, возможностью переноса загрязняющих веществ в воздух и воды этих территорий, с другой стороны - непосредственным влиянием отдельных показателей на здоровье населения.

Почвы в крупных развитых городах находятся в состоянии постоянного стресса, обусловленного прогрессирующим поступлением загрязняющих веществ в тело почвы. Группа особо токсичных поллютантов, поступающих в почвенный покров под силой техногенных факторов, представлена тяжёлыми металлами. Для определения уровня антропогенной нагрузки необходимо определить содержание тяжёлых металлов в почве, учитывая при этом региональный фон и природно-климатические условия района. Существующее фоновое содержание тяжёлых металлов поможет спрогнозировать дальнейшее загрязнение почв при установлении «точек отсчёта» возможного загрязнения и приоритетные мероприятия по ремедиации почв [33].

До недавнего времени использовался только один норматив загрязнения — ПДК пахотного слоя почвы (ПДК_п). Данный принцип, определяющий содержание химических веществ в почве, основан на том, что загрязняющие вещества попадают в почву через контактирующую с почвой среду.

Согласно ГОСТ 17.4.1.03-84 — "Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения":

«ПДК_п — предельно допустимая концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния наприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. ПДК_п элементов должно носить региональный характер.» [19]

Оценка уровня химического загрязнения в населенных пунктах проводится по специально разработанным методикам. Одним из параметров, по которому судят о загрязнении, является коэффициент концентрации химического элемента (1):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \text{ где:}$$

C_i — концентрация вещества;

$C_{\phi i}$ — фоновая концентрация вещества.

Химическое загрязнение почв оценивается по суммарному показателю химического загрязнения (Z_c).

Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) характеризует степень химического загрязнения почв обследуемых территорий различных классов опасности. Данный показатель определяется как сумма коэффициентов концентраций отдельных компонентов загрязнения по формуле:

$$Z_c = K_{c1} + \dots + K_{cn} - (n - 1), \text{ где:}$$

n — число определяемых элементов;

K_{ci} — коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный частному от деления массовой доли i -го вещества в загрязнённой и «фоновой» почве для тяжёлых металлов.

Таблица 1. Оценка экологического состояния почв

Категория загрязнения почв	Величина Z_c	Показатели здоровья населения
Допустимая	1-8	
Слабая	8-16	Наиболее низкие показатели заболеваемости детей, частота встречаемости функциональных отклонений минимальна
Средняя	16-32	Рост общей заболеваемости
Сильная	32-64	Рост общей заболеваемости, в т.ч., детской
Очень сильная	64-128	Рост общей заболеваемости, в т.ч., детской, нарушение репродуктивной функции женщин, рост онкологической заболеваемости

ГЛАВА 3. Загрязнение городских почв на примере исследования распространения тяжёлых металлов

3.1 Содержание тяжёлых металлов в почвах и классификации, применимые к ним

К группе тяжелых металлов и металлоидов относятся элементы с атомной массой выше 50, то есть начиная с ванадия. Заканчивается эта группа ураном с атомной массой 238. Внутри этого ряда находятся лантан с атомной массой 138.9 и все лантаноиды вплоть до лютеция (атомная масса 175). Исключаются металлы, не имеющие стабильных изотопов. Всего группа тяжелых металлов и металлоидов включает 58 элементов [34].

Тяжелые металлы и металлоиды изучают в двух качествах: их валовое содержание в почве и состав различных форм соединений. Соответственно, области использования информации различаются (табл. 2).

Таблица 2. Использование валового содержания тяжелых металлов и металлоидов и их форм в почвоведении, геохимии и агрохимии

Характеристика тяжёлых металлов и металлоидов	Область применения
Валовое содержание	Кларки элементов: глобальные и региональные; Установление природных и техногенных аномалий; Оценка контрастности и емкости геохимических барьеров; Нормирование
Формы соединений	Установление токсичности элемента; Определение доступности элементов растениям; Определение поступления тяжелых металлов и металлоидов в оросительную и питьевую воду; Закрепление мелиорантами при ремедиации; Устройство искусственных ремедиационных барьеров; Нормирование

В Программе глобального мониторинга, которая была принята в ООН в 1973 году, фигурировали всего три тяжелых металла: Pb, Cd и Hg [5]. Позже в докладе исполнительного директора Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) к наиболее опасным были добавлены семь тяжелых металлов: Cu, Sn, V, Cr, Mo, Co, Ni и три металлоида: Sb, As и Se. Данные рекомендации до сих пор служат основой для мониторинга тяжелых элементов в почве.

Министерство природных ресурсов и экологии РФ контролирует валовое содержание в почвах девяти тяжелых металлов. Для одних металлов установлены ПДК (ванадий, марганец, свинец), для других – ОДК (кадмий, медь, никель, цинк), для третьих, для которых нормативов нет (кобальт, хром), степень загрязнения почвы оценивается по эмпирическому критерию: превышение четырех фоновых значений. Согласно Российскому санитарно-гигиеническому ГОСТ 17.4.102-83 к высокоопасным относятся As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, к умеренноопасным – Ni, Mo, Cu, Sb [18]. Позднее особое внимание было уделено шести тяжелым элементам, для которых разработаны критерии ОДК: Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As [цит. по 34].

Ниже приведена таблица со значениями предельно допустимой добавки ТМ как поллютанта по данным Хомякова [15], а также значения ПДК и ОДК для некоторых тяжелых металлов (табл.3).

Таблица 3.

Степень опасности тяжелых металлов и металлоидов согласно

ГОСТу 17.4.1.02-83 (цит. по [3]).

Значения ПДК и ОДК (мг/кг) для российских нормативов приведены по данным Хомякова (2010), «Методических указаний ...» (1989).

Класс опасности	Металлы	Значения ПДК, мг/кг		Значения ОДК для валового содержания тяжелых металлов, мг/кг (в зависимости от типа почв, от песчаных до глинистых)
		Валовое содержание	Подвижная форма	
Высокоопасные	As	2	-	2-10
	Cd	-	-	0,5-2
	Hg	2,1	-	-
	Se	-	-	-

	Pb	32	-	32-130
	Zn	100	23	55-220
Умеренноопасные	Co	-	5	-
	Ni	85	4	20-80
	Mo	-	-	-
	Cu	55	3	23-132
	Sb	4,5	-	-
Малоопасные	Ba	-	-	-
	V	150	-	-
	W	-	-	-
	Mn	1500	-	-
	Sr	-	-	-

В своей статье «Об опасных тяжёлых металлах/металлоидах в почвах», Водяницкий Юрий Никифорович заметил, что «в России хром относится к умеренно опасным элементам [34]. Но сейчас доказана его канцерогенность, и в природоохранной литературе по числу публикаций хром разделяет первое место с высокоопасным мышьяком. Исходя из новых данных о степени токсичности хрома, вероятно, его следует переместить в группу высокоопасных элементов. В ГОСТе России не все тяжелые металлы и металлоиды классифицированы по токсичности; степень опасности германия, олова, цезия, лантана, церия, висмута и ряда других остается неизвестной.» [31]

Согласно СанПиН 2.1.7.1287-03, все химические загрязняющие вещества можно разделить на три класса опасности [25] (в табл. 4 указаны только тяжёлые металлы и металлоиды):

Таблица 4.

Классы опасности тяжёлых металлов и металлоидов

Класс опасности	Металл/Металлоид
I	As, Cd, Hg, Pb, Zn
II	B, Co, Ni, Mo, Cu, Cr
III	Ba, V, W, Mn, Sr

Содержание тяжелых металлов в загрязненных почвах изучено очень неравномерно, так, лучше исследованы 11 из них: Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, As, Mn, Co, Hg, Se; остальные 46 изучены гораздо хуже (цит. по [34]).

3.2 Характеристика некоторых тяжёлых металлов и металлоидов в почве

Согласно исследованиям В. В. Иванова, приведённым в книге «Экологическая геохимия элементов», существуют следующие закономерности распределения некоторых тяжёлых металлов в почвах, обуславливаемые породным фактором:

Ba — Sr

Cr — Mn — Fe

Pb — Zn — Cu — Ni — Co

Иными словами, концентрация некоторых элементов будет взаимно расти, тогда как в это же время концентрация других взаимосвязанных элементов будет уменьшаться.

Свинец занимает 36 место среди элементов земной коры, его кларк 16 мг/кг [3]. Кларк в почвах селитебных территорий - 54,5 мг/кг [1].

Установлено, что у свинца рекордно высокий период полуудаления из почв: от 740 до 5900 лет, по сравнению с более опасными кадмием (13-110 лет) и медью (310-1500 лет) [34]. При самоочищении супесчаной дерново-подзолистой почвы характерно различие в сохранности металлов: за 12 лет достоверно снизилось содержание Cd, Cu, Ni, но не Pb [34]. Это связано во многом с быстрым снижением подвижности свинца внесенного в почву [6].

Техногенный свинец попадает в почву при добыче свинцовых руд, как отход металлургии, ранее попадал из двигателей автомобилей, потребляющих бензин с присадкой свинца, а также из свалок, куда попадают использованные электрические аккумуляторы, краски, сплавы металлов. В случае работы асфальтобетонного завода, свинец поступает в среду вместе с отработанным топливом, мазутом [31].

Цинк занимает 24 место среди элементов земной коры, его кларк 83 мг/кг [3]. Кларк цинка в почве селитебных территорий 158 мг/кг [1]. Содержание Zn в почвах сильно варьирует. В центральной части Русской равнины в пахотном горизонте серых лесных почв оно составляет 63, в черноземах – 46–55, в торфянистых почвах – 16–19 мг/кг [6]. В то же время в нейтрально-щелочных почвах юга доступность цинка снижается из-за сильной сорбции (гидр)оксидами железа и марганца.

Цинковые удобрения, осадки сточных вод и воздушная пыль промышленного происхождения – основные источники поступления Zn в почву [6]. Много почв загрязнено Zn в результате деятельности плавильных заводов с устаревшей пирометаллургической технологией, когда выбрасывалась масса пыли и дыма, обогащенных Zn и Pb. Так же, как и Ni, Fe, данный элемент зачастую содержится в составе нефтепродуктов.

Кларк **никеля** в почвах мира по Виноградову равен 40 мг/кг. Кларк в почвах – 33 мг/кг [1].

Никель попадает в почву в результате сжигания топлива и за счет промышленных выбросов.

Медь. Кларк в земной коре 47 мг/кг, согласно данным Виноградова, 1962, а в почвах жилых зон – 39 мг/кг [1]. В химическом отношении медь – малоактивный металл. Основопологающим фактором, влияющим на величину содержания Cu, является концентрация ее в почвообразующих породах. Из изверженных пород наибольшее количество элемента накапливают основные породы – базальты (100-140 мг/кг) и андезиты (20-30 мг/кг). Покровные и лессовидные суглинки (20-40 мг/кг) менее богаты медью. Наименьшее же ее содержание отмечается в песчаниках, известняках и гранитах (5-15 мг/кг) [6].

В почвах медь является слабомиграционным элементом, хотя содержание подвижной формы бывает достаточно высоким. Количество подвижной меди зависит от многих факторов: химического и минералогического состава материнской породы, pH почвенного раствора, содержания органического вещества.

Значительное количество меди попадает в почву при применении медесодержащих фунгицидов (бордорская смесь, хлорокись меди).

Кларк **железа** по Виноградову, 1962, составляет 46500 мг/кг, кларк в почвах селитебных территорий – 22 300 мг/кг [1]. Железо является наиболее распространённым в земной коре тяжёлым металлом.

Пыль, дым промышленных производств могут содержать большие количества железа в виде аэрозолей железа, его оксидов, руд.

Пыль железа или его оксидов, оседающая в радиусе зоны действия предприятия образуется при заточке металлического инструмента, очистке деталей от ржавчины, прокате железных листов, электросварке и при других производственных процессах, в которых имеют место железо или его соединения [34].

Марганец. Кларк в земной коре – 1000 мг/кг [3], в почвах селитебных территорий – 729 мг/кг [1]; это - 14-й элемент по распространённости на Земле, а после железа — второй тяжёлый металл, содержащийся в земной коре. Массовая доля марганца увеличивается от кислых (600 г/т) к основным породам (2,2 кг/т) [6].

Кобальт занимает 30 место среди элементов земной коры, его кларк в земной коре, согласно данным Виноградова, 1962, 18 мг/кг, в почвах жилых зон – 14,1 мг/кг [1].

Из-за сорбции Со (гидр)оксидами железа и марганца, а также глинистыми минералами его миграция в тяжелых почвах затруднена. При анализе публикаций, можно встретить факты сильного токсического воздействия Pb, Zn и Со на почвенную биоту и растения. Вероятно, это связано со специфическими свойствами почв и форм соединений поллютантов [34].

Хром занимает 21 место среди элементов земной коры, его кларк в земной коре - 83 мг/кг [3], в почвах селитебных территорий – 80 мг/кг [1].

Содержание Cr зависит от состава почвообразующих пород. В почвах на гранитоидах оно – низкое 10 мг/кг, на габброидах возрастает до 100 мг/кг, а на ультрабазитах – до 300 мг/кг [6]. Загрязнение хромом сильно влияет на биологическую активность почвы. Снижается способность почв к разложению целлюлозы. За счет уменьшения выделения энергии при ухудшении почвенного дыхания тормозятся важные биохимические процессы [34].

Высокое содержание хрома имеют осадки сточных вод некоторых городов. Так, в осадке сточных вод Петербурга и Новосибирска количество Cr достигает 2500-3000 мг/кг [34].

Барий. Кларк металла в земной коре – 390 мг/кг [3], в почвах жилых зон – 853,12 мг/кг [1]. Содержание бария в верхнем слое почв и в материнской породе колеблется в широких пределах: от 16 до 2370 мг/кг [34].

В России опасность бария в почвах недооценена, сейчас его следует отнести к группе умеренноопасных элементов. Избыток бария в почве, воде и кормах, особенно в сочетании с избытком стронция может привести к нарушению кальциевого обмена и тяжелому поражению костной системы, известному под названием «уровской болезни» [34].

Стронций. Кларк в земной коре – 340 мг/кг [3], в зонах селитебных территорий – 458 мг/кг [1]. Стронций концентрируется преимущественно в магматических породах среднего состава и в карбонатных осадках, геохимические и биохимические свойства

стронция близки к свойствам кальция, поэтому в природных условиях суши стронций часто ассоциируется с кальцием и в меньшей степени с магнием.

Кларк **кадмия** 0,13 мг/кг [3], что позволяет отнести его к редким, рассеянным элементам. Почвы, которые подстилают граниты и гнейсы, содержат кадмия больше, чем известняки.

В почву кадмий поступает в составе отходов, образующихся при добыче и переработке цинковых, свинцово-цинковых, медно-цинковых руд; в виде примесей оксидов, сульфидов и иных галогенидов, содержащихся в выхлопных газах автомобилей, попадает с суперфосфатом и входит в состав фунгицидов. Основным источником загрязнения почвы кадмием - добыча и металлургия цинка, а также производство красок и электротехнической продукции.

Кларк **мышьяка** в почвах мира по Виноградову составляет 5.0 мг/кг, но для почв селитебных территорий он возрастает до 15,9 мг/кг [1].

Наиболее обогащены As отходы некоторых рудников. Часть мышьяка включается в промышленные циклы, и затем, благодаря растворению минералов, поступает в почву и почвенные воды. Мышьяк с фильтрующей водой попадает в водоносные горизонты, а затем в питьевые водозаборы.

В условиях крупных городов, коим и является Санкт-Петербург, почвенный покров города подвержен постоянному стрессу, обусловленному регулярным поступлением загрязняющих веществ. Одними из наиболее распространённых загрязняющих веществ являются тяжёлые металлы, поступление которых в почвы городов обусловлено антропогенной деятельностью в 90% случаев.

Определяя степень антропогенной нагрузки, необходимо принимать во внимание не только концентрации тяжёлых металлов в почвах, но и множество сопутствующих их распространению факторов: региональный фон, природно-климатические условия, гидрологический режим территории и интенсивность промывания почвенного профиля, геологохимические особенности покровных отложений, pH среды. [31]

Техногенез является лимитирующим процессом в почвах городов – его действие часто превалирует над действием природных факторов почвообразования: таким образом, об уровне техногенной трансформации городских почв можно судить по характеру их изменений относительно естественных почв, соответствующих этому региону. [32]

ГЛАВА 4. Методика исследований

4.1. Полевой этап

Объектом исследования являлся Асфальто-бетонный завод № 1 (далее – АБЗ-1), расположенный в МО Коломяги на территории Санкт-Петербурга. Для АБЗ-1 была построена примерная модель рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, на основе которой была определена сеть опробования. В качестве фоновых значений планировалось использовать показания 21-й почвенной пробы, отобранных в пределах Новоорловского лесопарка, также располагающегося на территории МО Коломяги. Таблица с координатами точек пробоотбора находится в Приложении 2.

На рис. 3 показана карта-схема с границами участка пробоотбора:



Рисунок 3 – Карта-схема с границами участка пробоотбора

Все 30 почвенных проб были отобраны методом конверта с глубины 0-20 см, часть из них была помещена в тряпочные мешочки для анализа на тяжёлые металлы, другая часть, предназначенная для исследования на нефтепродукты, помещалась в полиэтиленовые грипперы и откладывалась в холодильную камеру. Впоследствии пробы были обработаны в соответствии с ГОСТом 17.4.4.02-84. Координаты всех точек пробоотбора были записаны с целью дальнейшего построения карты распределения элементов.

4.2. Камеральный этап

В лаборатории на факультете образцы были обработаны для последующего анализа на валовое содержание и подвижные формы тяжёлых металлов, проводимого в ресурсном

центре СПбГУ по направлению «Химия». Для этого образцы были просушены непосредственно в развязанных мешочках.

Для определения как подвижных форм, так и валового содержания тяжёлых металлов особо крупные комки почвы были размяты в фарфоровой ступке, затем проба была просеяна через почвенные сита, диаметр ячеек самого маленького из которых составлял 0,25 мм. Из просеянной пробы была отобрана представительная проба, масса которой составляла 10 г, и которая в итоге была растёрта в ступке из агата до пудрообразного состояния. Поскольку анализ предполагал исследования на разные формы содержания тяжёлых металлов, то масса каждого образца для одного анализа составляла 5 граммов.

Для меньшей погрешности исследования было решено проводить его в двукратной повторности, поэтому каждая проба для какого-либо анализа делилась на две части. Масса одного исследуемого на тяжёлые металлы образца, таким образом, составляла 2, 5 г.

Подготовка к дальнейшему исследованию проб на анализ содержания подвижных форм тяжёлых металлов происходила также на факультете. Пробоподготовка проводилась в 3 этапа и занимала 2 рабочих дня: в первый день 2,5 г. образца почвы помещалось в баночку для вытяжки и заливалось 50 мл. ацетат-аммонийного буфера. Баночка закрывалась крышкой и содержимое отстаивалось в течение суток. По прошествии суток содержимое фильтровали, используя для этого сперва белую, а потом и синюю фильтровальные ленты. Отфильтрованная жидкость переливалась в новые ёмкости и была готова к анализу.

Подготовка к анализу на валовое содержание подвижных металлов методом микроволнового разложения происходила непосредственно в самом ресурсном центре СПбГУ по направлению «Химия» в присутствии инженера по пробоподготовке. Сперва была изготовлена кислотная смесь, состоящая из плавиковой, соляной и азотной кислот и воды в пропорциях 5:1:4:10 соответственно. Затем в тефлоновый автоклав засыпался образец почвы массой строго 0,5 г. и добавлялось 20 г. кислотной смеси. Автоклавы помещали в микроволновую печь и проводили разложение проб.

После окончания разложения полученную жидкость так же, как и при исследовании на подвижные формы тяжёлых металлов, фильтровали с помощью белой и синей фильтровальных лент.

Далее, в ресурсном центре по направлению «Химия» в Научном парке СПбГУ методом атомной адсорбции на спектрометре ICPE-9000 были измерены концентрации 14 тяжёлых металлов: As, Bi, Ba, Cu, Hg, Ni, Zn, Sr, Cd, Pb, Cr, Co, Mn и Zn.

Пробы исследовались на концентрации как подвижных форм тяжёлых металлов, характеризующих доступность элементов для растений, а значит, отображающих общую санитарно-гигиеническую обстановку и необходимость проведения детоксикационных мероприятий (методика пробоподготовки ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011), так и валовых, характеризующих общую загрязнённость почвы (методика пробоподготовки ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02).

4.3. Обработка полученных данных и расчёт Z_c

После расшифровки данных, полученных в ходе работы на спектрометре, в соответствии с формулой, описанной во второй главе, пункте 2.3, был произведен расчёт Z_c по каждой пробе для валовых и подвижных форм тяжёлых металлов (табл. 5).

Таблица 5.

Максимальное, среднее и минимальное значение Z_c
для подвижных и валовых форм тяжёлых металлов

(за фон приняты пробы, отобранные в Новоорловском лесопарке)

	Величина Z_c для подвижных форм ТМ	Величина Z_c для валовых форм ТМ
Максимум	12,2	8,4
Среднее	7,6	3,6
Минимум	1,1	1,5

Таблицы со значениями концентраций тяжёлых металлов (и валового содержания, и подвижных форм) расположены в Приложении 3.

В ходе анализа также выяснилось, что посчитать Z_c по соотношению K_c к ПДК или ОДК не представляется целесообразным, поскольку превышение значений ПДК установлено только в нескольких пробах по Zn и Pb, и только для подвижных форм (рис.4.).

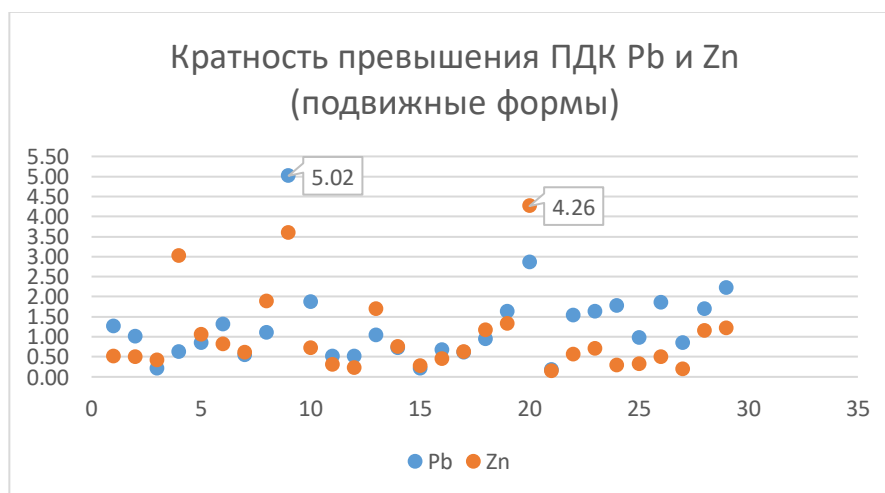


Рисунок 4 – Кратность превышения ПДК свинцом и цинком (подвижные формы)

Формула расчёта коэффициент концентрации химического элемента (1) также не является совершенной: концентрация исследуемого элемента (C_i) в рассмотренных документах трактуется по-разному: «химический элемент» [17], «определяемое вещество» [15], «загрязняющее вещество» [19], «токсикант» [18].

Формулировки «определяемое вещество» и «загрязняющее вещество» очень расплывчаты и не несут никакой конкретики. Использование термина «токсикант» фактически сокращает область определения показателя только до токсикантов.

В ходе измерений проб на валовое содержание и подвижные формы, проходивших на базе научного центра СПбГУ по направлению «Химия», было выявлено очевидное несовпадение: при анализе данных выяснилось, что в некоторых случаях показатели для подвижных форм превышают показатели валовых форм, что исключено. Данные несоответствия присущи ряду металлов (Ba, Cu, Cr, Ni, Sr, Zn) и отображены в гистограммах ниже (рис.5 – рис.10):



Рисунок 5 - Соотношение доли подвижной форм Ba и валового содержания

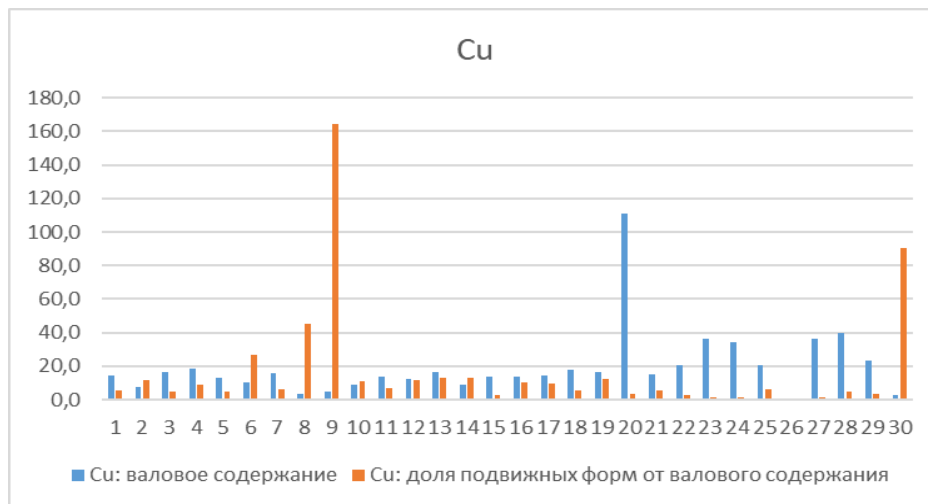


Рисунок 6 - Соотношение доли подвижной форм Cu и валового содержания

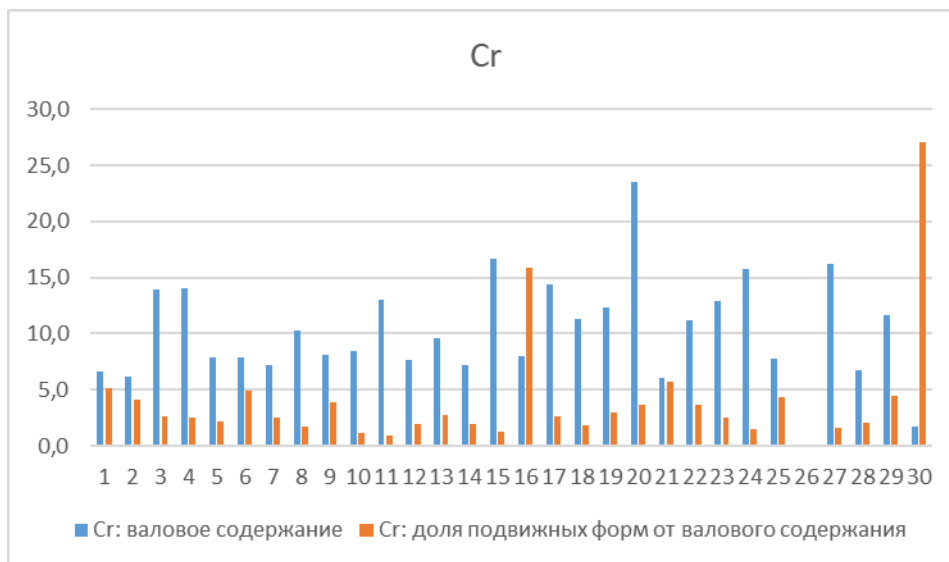


Рисунок 7 - Соотношение доли подвижной форм Cr и валового содержания

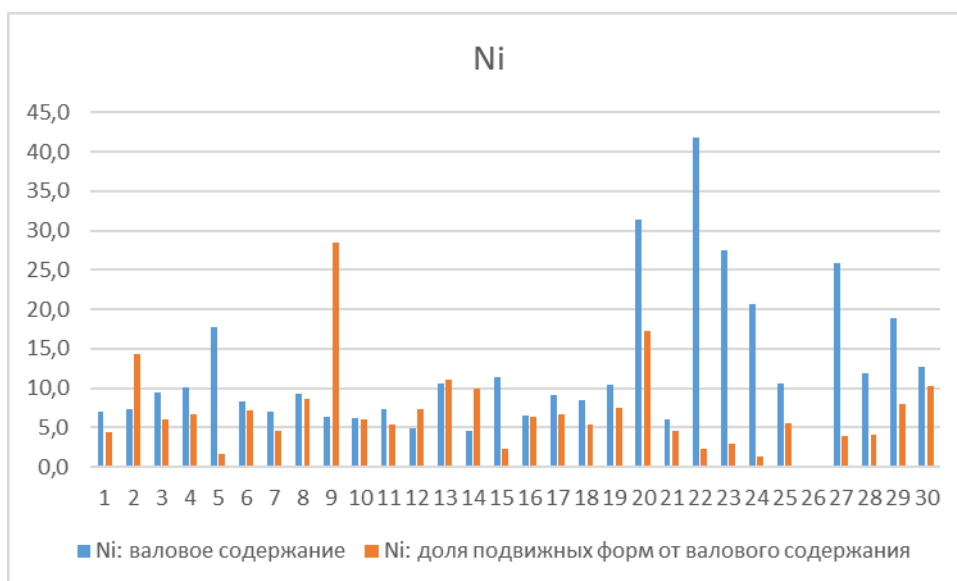


Рисунок 8 - Соотношение доли подвижной форм Ni и валового содержания

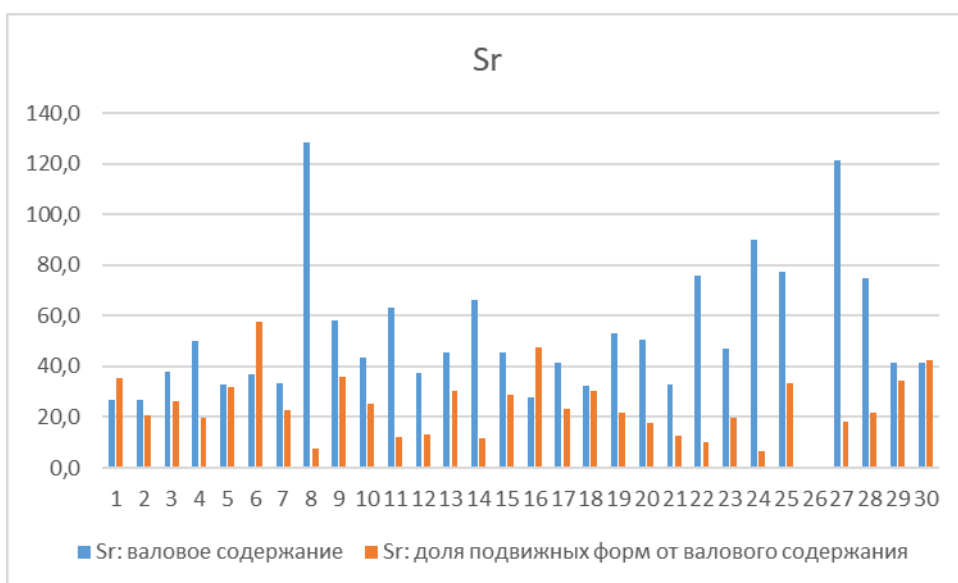


Рисунок 9 - Соотношение доли подвижной форм Sr и валового содержания



Рисунок 10 - Соотношение доли подвижной форм Zn и валового содержания

В связи с тем, что в лаборатории при ресурсном центре СПбГУ по направлению «Химия» не были проведены запланированные анализы на содержание в пробах нефтепродуктов, бенз-(а)-пирена и кремниевой пыли, упор в исследовании фиксировался на содержании тяжёлых металлов в пробах и их распределении в зоне сети пробоотбора. Для этого были использованы факторный и кластерный анализы данных.

4.4 Факторный и кластерный анализы данных

Факторный анализ подразумевает под собой один из разделов многомерного статистического анализа.

С помощью факторного анализа выявляются факторы, отвечающие за наличие определённых связей корреляций между наблюдаемыми переменными.

В данном исследовании он призван выделить факторы, влияющие на распределение по территории исследуемых тяжёлых металлов и металлоидов.

С помощью программы Statistica, в которую были выгружены данные, занесённые в таблицу Excel, была произведена обработка данных и автоматически сформированы таблица с факторами и иерархическая структура связей распределений тяжёлых металлов и металлоидов, изучаемых в данном исследовании (таб. 6, таб.7 и рис. 11, рис.12).

Таблица 6.

Результаты факторного анализа для валового содержания исследуемых тяжёлых металлов

	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
	1	2	3	4	5
Ba	-0,83	-0,18	-0,37	0,20	0,32
Cr	-0,75	-0,56	0,20	0,16	-0,14
Cu	-0,80	-0,42	0,07	-0,34	0,03
Fe	-0,83	-0,02	0,38	0,34	0,05
Mn	-0,92	0,36	0,10	-0,04	0,00
Ni	-0,86	-0,18	-0,18	-0,28	-0,05
Pb	-0,93	0,34	0,09	-0,10	0,03
Sr	-0,82	0,13	-0,42	0,21	-0,27
Zn	-0,92	0,35	0,11	-0,10	0,01
вес фактора%	73	10	6	5	2

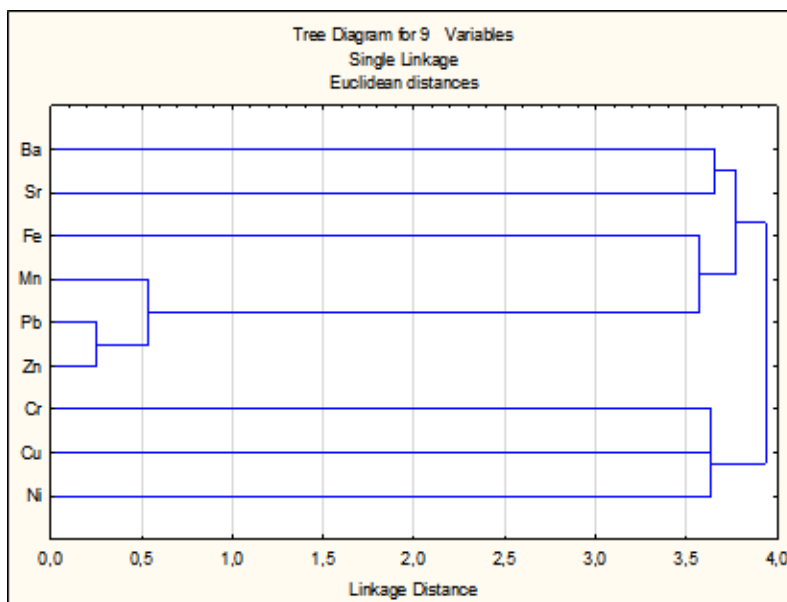


Рисунок 11 – Кластерный анализ: иерархическая структура связей, отображающая распределение валового содержания тяжёлых металлов по исследуемой территории

Проведенный статистический анализ позволяет сделать вывод, что первым – лидирующим – фактором, доля которого составила 73%, является породный. Так, распределение исследуемых металлов по территории носит классический геохимический характер: так, элементы расположились практически попарно: Ba и Sr, Fe и Mn, Pb и Zn, и Cu и Ni.

В процессе почвообразования поверхностный горизонт почв сохраняет в себе корреляционные связи между элементами, которые были характерны для почвообразующей породы. Несмотря на то, что в данной работе исследуется распределение тяжёлых металлов именно в городской почве, которая может быть и насыпной, данный факт, тем не менее, отчётливо прослеживается исходя из полученных результатов.

Второй фактор, скорее всего, является антропогенным, - а именно, аэротехногенным, - это отображается в таблице по данным корреляции между Mn, Pb и Zn. Это можно связать с тем, что данные элементы являются аэротехногенными загрязнителями, и их концентрация в поверхностном слое почвы обусловлена антропогенным поступлением в большей степени, нежели литогенно-геохимическим наследием. Доля данного фактора составляет 10% от общего числа.

Анализ распределения подвижных форм тяжёлых металлов (таб. 7 и рис.12) выявил напротив, совершенно не классическую картину:

Результаты факторного анализа для подвижных форм исследуемых тяжёлых металлов

	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
	1	2	3	4	5
Ba	-0,93	-0,20	0,10	-0,09	-0,08
Cd	-0,90	0,08	-0,08	0,29	0,03
Co	0,11	0,50	0,80	-0,19	-0,12
Cr	-0,28	0,65	-0,19	0,30	-0,60
Cu	-0,93	-0,04	0,02	-0,04	0,07
Fe	0,03	0,74	-0,16	-0,57	0,16
Mn	-0,64	-0,45	0,43	-0,14	-0,20
Ni	-0,82	0,40	-0,14	0,14	0,26
Pb	-0,86	-0,18	-0,03	-0,17	-0,04
Sr	-0,67	-0,11	-0,34	-0,48	-0,20
Zn	-0,76	0,31	0,24	0,24	0,29
вес фактора%	50	16	10	8	6

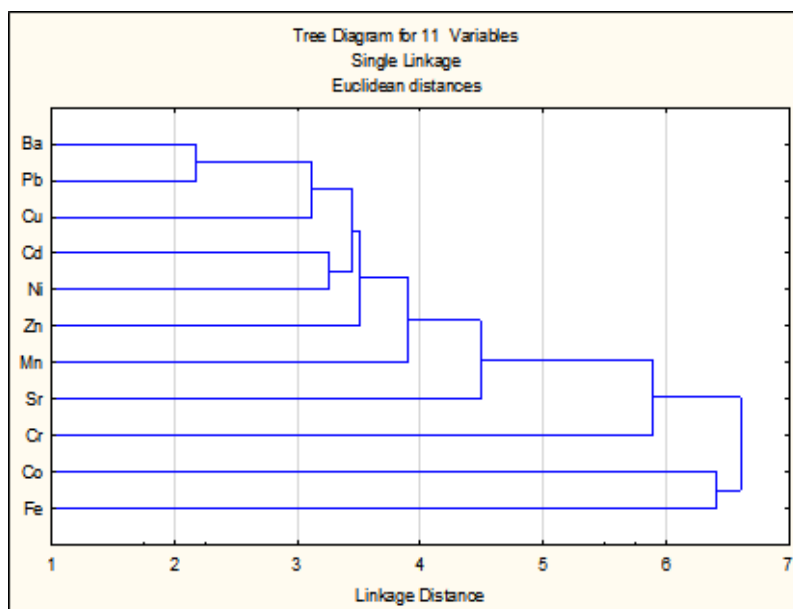


Рисунок 12 – Кластерный анализ: иерархическая структура связей, отображающая распределение подвижных форм тяжёлых металлов по исследуемой территории

По данным таблицы и диаграммы, корреляционная связь по первому фактору прослеживается между Ba, Cu и Cd; Pb, Ni и Zn; Sr и Mn.

По таблице распределения факторной нагрузки (см. Прил. 4), наибольшие корреляционные связи по первому фактору имеют точки 11, 12, 21 и 24, а также прослеживается связь между точками 1, 2, 7, 15 и 28 (таб. 8):

Распределение значений влияния фактора №1 для подвижных форм тяжёлых металлов по исследуемой территории: максимальные значения

нагрузки	Factor
N пробы	1
1	0,53
2	0,55
7	0,56
11	0,64
12	0,76
15	0,54
21	0,87
24	0,75
28	0,52

При попытке проанализировать такую величину факторной нагрузки на данные точки, была выявлена одна общая черта для данных точек: все они располагались на местности, куда вероятно могли поступать удобрения. Так, точки №1-2, №7, №11-12 и №15 располагались близ палисадников внутри дворов жилого квартала или огородов, а для точек №21 и №24, располагающихся на территории Новоорловского лесопарка, в пределах зоны пробоотбора были характерны саженцы сосен. Можно попытаться связать этот факт с ростом Со, вероятно, поступающего в поверхностные слои в качестве удобрения, однако обратная связь с медью противоречит данному факту.

Поскольку данные связи между элементами совершенно атипичны, напрашивается вывод, что такое распределение элементов связано с влиянием насыпного характера привнесения материала в поверхностный слой исследуемых почв. Таким образом, можно подытожить, что на каждую корреляционную связь между элементами в данном случае влияют разные антропогенные факторы.

По второму фактору можно определить корреляцию между следующими элементами: Fe, Cr и Co взаимно увеличиваются, что похоже на влияние породного литогенно-геохимического фактора, но сопутствующий им Mn в то же время уменьшается. Вероятно, вторым фактором, доля которого составляет 16%, всё же является породный, а отсутствие корреляционной связи Mn с другими элементами может быть объяснено тем, что концентрация данного элемента в поверхностном горизонте «почвы» не определяется ни литогенно-геохимическим фактором, ни аэротехногенным, - следовательно, существует какой-то источник поступления марганца в данную почву, определяющий основную долю его концентрацию. Связь Ni-Zn также доказывает влияние этого фактора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении данной темы выяснилось, что в научном сообществе наиболее широко рассмотрен аспект загрязнения воздуха. Сведений о влиянии асфальтобетонных заводов на почву чрезвычайно мало, что ещё раз подчёркивает актуальность текущего исследования.

К основным характерным загрязняющим веществам, образующимся при работе АБЗ-1 относятся:

- неорганическая пыль с разным содержанием диоксида кремния;
- оксиды углерода и азота;
- диоксид серы;
- предельные углеводороды;
- диоксины и фураны;
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
- бенз(а)пирен и сажа как побочные продукты горения битума;
- свинец и его неорганические соединения – при работе транспорта на этилированном бензине;
- оксиды железа, марганец, и его соединения – при использовании щебня в качестве заполнителя асфальтобетонной смеси;
- оксиды свинца, цинка, хрома или железа – в качестве неорганических пигментов при создании цветного асфальта.

Для оценки уровня эмиссии с помощью программы УПРЗА «ЭКО центр» была построена примерная модель рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, отобразившая широкий ареал распространения неорганической пыли, захватывающий территорию жилых кварталов МО Коломяги (Прил. 1). На основе данной модели была определена сеть опробования.

Изначально планировалось провести исследование почвы на содержание в ней нефтепродуктов, кремниевой неорганической пыли и тяжёлых металлов (как валового содержания, так и подвижных форм), однако осуществить анализы почвы по содержанию пыли и нефтепродуктов не удалось в силу того, что в период проведения данной исследовательской работы возможности Ресурсного Центра СПбГУ по направлению «Химия» были ограничены. В связи с этим в данной работе упор сделан на рассмотрение загрязнения почвы как депонирующей среды тяжёлыми металлами, поступающими от асфальтобетонного завода.

Оценка уровня содержания загрязняющих веществ в городских почвах МО Коломяги заключалась в определении концентраций валового содержания и подвижных форм тяжёлых металлов. Проведенный анализ *валового содержания* тяжёлых металлов в почвах позволяет сделать вывод о преобладании естественных факторов распределения

данных элементов на исследуемой территории. Превышения нормативов как ПДК, так и ОДК, не было зафиксировано ни для одного элемента. Факторный и кластерный анализы показали классическое природное распределение валовых форм тяжёлых металлов.

При анализе *подвижных форм* тяжёлых металлов в исследуемой почве, можно сказать, что в данном случае речь идёт о влиянии антропогенного фактора на распределение данных элементов. Превышения значений ПДК были установлены только в нескольких пробах по Zn (в 10 пробах из 30) и Pb (в 15 пробах из 30), составляя максимальную кратность в 4,26 раз и 5,02 раз соответственно. Выполненный статистический анализ также указывает то, что данные элементы распределены нетипично в силу действия нескольких антропогенных факторов, а также, возможно, неприродного генезиса поверхностного слоя «почв».

Была выполнена обработка данных по распределению валового содержания и подвижных форм металлов, в соответствии с данным анализом были построены карты распределения (Прил. 5, Прил.6.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. — Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. — 388 с
2. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 138 с.
3. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре (рус.) // Геохимия. — 1956. — Вып. 1. 6—52 с.
4. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация. Издательство: Ойкумена, 2003 г.
5. Добровольский В.В. География микроэлементов, глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
6. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник в 6 томах. Недра, Москва, 1994 г., 304 с.
7. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. — М: Гидрометеиздат, 1994.
8. Ковалева Г.В., Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В и др. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах: монография. — Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. -159 с.
9. Кусова И.В. Физико-химические процессы в техносфере: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, УГАТУ, 2008.
10. Марышев Б.С., Соловьев Б.Н. Статья «Асфальтобетонные заводы и технологическое оборудование для их оснащения», // [Электронный ресурс] сайт библиотеки строителей. URL: <http://library.stroit.ru/articles/asfzavod> (дата обращения: 3.03.2018)
11. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для асфальтобетонных заводов (расчетным методом), 1998. // [Электронный ресурс] URL: http://www.vsestroi.ru/snip_kat
12. Никитенко, М.А. Влияние урбанизации на трансформацию почвенного покрова и условия функционирования древесных растений городов среднего Предуралья (на

- примере г. Сарапула и г. Камбарки): дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Никитенко Мария Анатольевна. - Ижевск, 2007. – 193 с.
13. Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. - 84 с.
 14. Федотов Г.Н., Рудомёткина Т.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на некоторые свойства почв, доклады Академии Наук, 2012, том 447, № 1, с. 114-117
 15. Хомяков Д.М. К вопросу об оценке уровня загрязнения и состояния городских почв // Современные проблемы загрязнения почв – III Межд. конф. М., 2010. – 53-57 с.
 16. Шелепчиков А.А. «Обзор Загрязнения окружающей среды полихлорированными дибензо-п-диоксинами и диоксиноподобными веществами», Официальный сайт РАН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Лаборатория аналитической экотоксикологии. URL: <http://www.dioxin.ru/history/dioxin-info.htm> (дата обращения: 17.04.2018)
 17. ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007341>
 18. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012797>
 19. ГОСТ 17.4.1.03-84. Охрана природы (ССОП). Почвы. Термины и определения химического загрязнения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/822906733>
 20. ГОСТ 17.4.3.06-86. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. Введ. 1.07.87. – М.: Изд-во стандартов, 1987, 4с.
 21. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации, Москва, 2003, с.33
 22. Методические указания «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». М.: 2003 Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7.02.1999 № 2.1.7.730-99
 23. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 27 декабря 1993 г. №4-25/61-5678.
 24. О критериях значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения с нарушением установленных земельным законодательством требований рационального использования земли: Постановление от 19 июля 2012 г. №736 // Собрание законодательства РФ, 2012, №30, ст.4290

25. СанПиН 2.1.7.1287-03. "Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы" (с изменениями на 25 апреля 2007 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859456>
26. Статья «Коломаги останутся с заводами», Петербургская интернет-газета «Фонтанка.ру», URL: <https://www.fontanka.ru/2016/03/18/130/> (дата обращения: 3.03.2018)
27. Статья «Нефтепродукты в почве», 18.07.2017, - Официальный сайт ФГБУ «Центральная научно-производственная ветеринарная радиологическая лаборатория», URL: <http://www.fgu-radiovetlab.ru/sobytiya-i-novosti/pishchevaya-bezopasnost/item/2035-nefteprodukty-v-pochve.html> (дата обращения: 18.04.2018)
28. Статья «Роль ПАВ в структурообразовании асфальтобетона и снижении расхода битума», - // [Электронный ресурс] Информационный сайт о строительных материалах и технологиях. URL: (<http://stroy-spravka.ru/article/rol-pav-v-strukturoobrazsvanii-asfaltobetona-i-snizhenii-raskhoda-bituma>) (дата обращения: 21.04.2018)
29. Статья «Стационарные асфальтобетонные заводы и их технические характеристики». // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.speco-asfalt.ru/articles.php?article=24> (дата обращения: 3.03.18)
30. Официальный сайт предприятия АБЗ-1, URL: <http://www.abz-1.ru/abz-1> (дата обращения: 5.03.2018)
31. Статья «Асфальтовые заводы как источник поступления тяжелых металлов в окружающую среду», Янин Е.П. // [Электронный ресурс] : журнал «Экологическая экспертиза», 2005, № 2, с. 14-20. URL: <http://www.nparso.ru/images/docs/OS2.pdf> (дата обращения: 21.04.2018)
32. Статья «Достоверность оценки загрязнения почв тяжёлыми металлами», Околелова А.А. Научный журнал КубГАУ 2014, № 101 (07), с. 114-117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostovernost-otsenki-zagryazneniya-pochv-tyazhelyimi-metallami> (дата обращения: 13.03.2019)
33. Статья «Оценка полиэлементной токсикации почв», Околелова А.А. // Журнал «Фундаментальные исследования», 2014, № 3 (часть 2), с. 296-300. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33627> (дата обращения: 13.03.2019)
34. Статья «Об опасных тяжёлых металлах/металлоидах в почвах», Водяницкий Ю.Н, М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 2008. URL: <http://rmag.soil.msu.ru/articles/886.pdf> (дата обращения: 23.04.2019)